Iranian Journal of Pulses Research
Vol. 15, No. 2, December 2024, pp. 129-139
Original Research

Homepage: https://ijpr.um.ac.ir

نشریه پژوهش‌های حبوبات ایران
جلد ۱۵، شمارهٔ ۲، نیمهٔ دوم ۱٤۰۳، ص. ۱۳۹-۱۲۹
نوع مقاله: پژوهشی

https://doi.org/10.22067/ijpr.2024.83555.1062

The Effect of Planting Density and Supplementary Irrigation on the Agricultural Traits of Lentil (*Lens culinaris* Medik.) in Dry Conditions

Mehdi Kakaei [1]*

Received: 24-07-2023
Revised: 09-01-2024
Accepted: 18-03-2024
Available Online: 03-11-2024

Cite this article:
Kakaei, M. (2024). The effect of planting density and supplementary irrigation on the agricultural traits of lentil (*Lens culinaris* Medik.) in dry conditions. *Iranian Journal of Pulses Research*, *15*(1), 129-139. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22067/ijpr.2024.83555.1062

Introduction
Lentil (*Lens culinaris* Medik.) from the Fabaceae family, is a self-fertilizing and diploid annual plant (2n=14), herbaceous and botanically has a short and branched stem with a bright green color. Drought stress is one of the most common climate-related challenges in nature, and few plants can fully overcome it. It is a major factor limiting plant growth. Given that over 80% of the area under lentil cultivation in Iran relies on rainfed agriculture, drought has the greatest impact on reducing yield during various stages of the plant's growth and development. Supplementary irrigation technique is effective in reducing the possible risk and increasing the reliability of crop yield under rainfed conditions. Planting density can play an important and strategic role in plant yield.

Materials and Methods
The present experiment was conducted in the crop year 2023. The soil of the study site, first, was plowed and then disked and finally leveled with a trowel. Before planting, the seeds were disinfected using Captan fungicide to prevent lightning disease. After the initial preparation of the land, planting was done at the end of March 2023. The experiment was carried out in the form of split plots based on a randomized complete block design with three replications. The main factor (main plots) included two levels (irrigation at the time of planting and no supplementary irrigation) and the sub factor (subplots) was related to planting density (100, 200 and 300 plants per m^2). All crop care was done at a certain time according to the customs of the research area. In this research, the characteristics of plant height, number of pods per plant, number of seeds per plant, number of branches per plant, dry weight of a whole plant (biomass), total weight of seeds of a plant (seed yield), 100-seed weight and the SPAD value were measured. Relevant measurements were performed with standard methods. SPSS version 26 software was used for statistical analysis of data.

Results and Discussion
The results of this study showed that there is significant genetic diversity for the studied traits. Based on the Analysis of variance results, in the case of supplementary irrigation factor, the traits of number of pods per plant, number of seeds per plant, biological yield, 100-seed weight and SPAD value at the probability level of 1% ($P \leq 0.01$) and for traits of plant height and seed yield were significant at the 5% probability level ($P \leq 0.05$). Regarding the planting density, traits of number of pods per plant, biological yield, seed yield, 100-seed weight and SPAD value were significant at 1% probability level ($P \leq 0.01$). Considering the interaction effect of these two factors (supplementary irrigation and planting density), the number of seeds per plant was significant at the 5% probability level ($P \leq 0.05$) and the 100-seed weight was significant at the probability level 1% ($P \leq 0.01$). Mojdeh cultivar with a density of 100 and 200 plants per m^2 and with additional irrigation conditions at the beginning of flowering had the best yield (3.26 and 2.93 g, respectively). Correlation analysis (Pearson method) of traits showed that there is a significant correlation between the yield and other evaluated traits ($P \leq 0.01$ and $P \leq 0.05$), which indicates the relationship between yield components and yield which can pave the way for future agricultural and plant breeding research on the same topics as current research.

1- Associate Professor, Department of Agricultural Sciences, Faculty of Engineering, Payame Noor University, Tehran, Iran.
* Corresponding Author: m.kakaei@pnu.ac.ir

Conclusions
According to the results of this experiment, it seems that the density of 100 or 200 plants per m^2 is suitable for lentil cultivation in conditions similar to the location of this research. The results also showed the significant diversity and difference for most traits, which can be useful and practical in future agricultural and breeding programs.

Keywords: Correlation, Density, Podding, Supplementary irrigation

نشریه پژوهش‌های حبوبات ایران
جلد ۱۵، شمارهٔ ۲، نیمهٔ دوم ۱۴۰۳، ص. ۱۳۹-۱۲۹
نوع مقاله: پژوهشی

Iranian Journal of Pulses Research
Vol. 15, No. 2, December 2024, pp. 129-139
Original Research

Homepage: https://ijpr.um.ac.ir

https://doi.org/10.22067/ijpr.2024.83555.1062

تأثیر تراکم کاشت و آبیاری تکمیلی بر صفات زراعی عدس (*Lens culinaris* Medik.) در شرایط دیم

مهدی کاکایی[1*]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۵/۰۲
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۲۸

چکیده

به‌منظور ارزیابی اثرات آبیاری تکمیلی و تراکم کاشت بر گیاه عدس (*Lens culinaris* Medik.) (رقم مژده)، آزمایشی به‌صورت کرت‌های خرد شده با آرایش طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۱۴۰۲- ۱۴۰۱ در مزرعه آموزشی- پژوهشی دانشگاه پیام‌نور اسدآباد (استان همدان) اجرا گردید. عامل‌های آزمایش شامل آبیاری (در مرحله نیام‌دهی و بدون آبیاری تکمیلی (دیم)) به‌عنوان عامل اصلی و تراکم کاشت (۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ بوته در مترمربع) به‌عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شدند. بر اساس جدول تجزیه واریانس، تأثیر عامل آبیاری تکمیلی بر صفات تعداد نیام در بوته، تعداد دانه در بوته، عملکرد بیولوژیک، وزن ۱۰۰ دانه و شاخص سبزینگی در سطح احتمال یک درصد (P≤ ۰/۰۱) و بر صفات ارتفاع بوته و عملکرد دانه در سطح احتمال پنج درصد (P≤ ۰/۰۵)، معنی‌دار بود. تأثیر عامل تراکم کاشت بر صفات تعداد نیام در بوته، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه، وزن ۱۰۰ دانه و شاخص سبزینگی در سطح احتمال یک درصد (P≤ ۰/۰۱) معنی‌دار گردید. اثر متقابل این دو عامل (آبیاری تکمیلی و تراکم کاشت) بر صفت تعداد دانه در بوته در سطح احتمال پنج درصد (P≤ ۰/۰۵) و بر صفت وزن ۱۰۰ دانه در سطح احتمال یک درصد (P≤ ۰/۰۱) معنی‌دار بود. رقم مژده در تراکم ۱۰۰ و ۲۰۰ بوته در واحد سطح و با شرایط آبیاری تکمیلی در اوایل نیام‌دهی توانست بهترین عملکرد (به ترتیب ۳/۲۶ و ۲/۹۳ گرم در واحد تک بوته) را تولید نماید. تجزیه همبستگی (پیرسون) صفات عملکرد و اجزای عملکرد نشان داد که بین عملکرد بوته و سایر صفات مورد ارزیابی، همبستگی معنی‌داری وجود داشت که نشان‌دهنده ارتباط اجزای عملکرد با صفت عملکرد می‌باشد که می‌تواند مسیر پژوهش‌های آتی به‌زراعی و به‌نژادی را در موضوعات مشابه تحقیق حاضر هموارتر نماید. با توجه به نتایج کلی این آزمایش، به نظر می‌رسد که تراکم ۱۰۰ یا ۲۰۰ بوته در مترمربع در شرایط آبیاری تکمیلی برای کشت عدس در اسفندماه (در شرایط محل اجرای این پژوهش) مناسب می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: آبیاری تکمیلی، تراکم، نیام‌دهی، همبستگی

مقدمه

از جمله حوادث اقلیمی رایج در طبیعت، تنش خشکی می‌باشد که معمولاً کمتر گیاهی به‌طور کامل، موفق به عبور از آن می باشد و به‌عنوان عاملی در جهت محدود کردن رشد گیاهان شناخته شده است (Kakaei, 2019). با توجه به این که فراتر از ۸۰ درصد سطح زیر کشت عدس (*Lens culinaris* Medik.) در ایران به‌صورت کشت دیم می‌باشد، بیشترین اثر در نقصان عملکرد این گیاه در مراحل مختلف رشدونمو این گیاه حادث می‌شود (Parsa & Bagheri, 2008). گیاه عدس از جمله حبوباتی می‌باشد که دارای عادت رشدی نامحدود و سرما دوست می‌باشد. در اکثر نقاط کشور، این گیاه در خاک‌های فقیر و به‌صورت دیم زراعت می‌شود؛ پراکندگی نامناسب بارندگی و کمبود باران، عملکرد اندکی را برای گیاه عدس ایجاد نموده است. چنانچه رطوبت برای این گیاه تأمین گردد، قادر است رشد رویشی و زایشی خود را در مدت زمان طولانی‌تری ادامه دهد (Hosseini et al., 2011). بسیاری از افراد در اکثر کشورها و از جمله کشور ایران از حبوباتی نظیر نخود و عدس، پروتئین مورد نیاز خود را تأمین می‌کنند (Kakaei, 2019). عدس نقش مهمی در امنیت غذایی داشته و یک منبع پایدار از پروتئین، روی، آهن، کربوهیدرات‌های پری‌بیوتیک و مواد مغذی متنوع برای ارتقای سلامت می‌باشد. این محصول به‌طور گسترده در مناطق حاشیه‌ای نیمه‌خشک کشت می‌شود و در معرض عوامل استرس‌زای محیطی مختلف قرار دارد (Zeroual et al., 2023). عدس در تأمین پروتئین انسان و دام، کاهش شیوع علف‌های هرز و آفات و بیماری‌ها (قرار گرفتن در تناوب زراعی) نقش ارزنده‌ای در سیستم‌های کشاورزی دارد

۱- دانشیار، گروه علوم کشاورزی، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه پیام‌نور، تهران، ایران.
(*- نویسنده مسئول: m.kakaei@pnu.ac.ir)

(Miguele et al., 2005). به‌علت کم توقع بودن این گیاه، امکان کشت آن در سطح وسیعی از زمین‌های زراعی با خواص مختلف، هموار شده است. حبوبات علاوه‌براین که منبعی غنی از پروتئین‌ها و اسیدهای آمینه ضروری هستند، می‌توانند به‌عنوان یک کارخانه کوچک نیتروژن‌ساز عمل نموده و نیاز به کودهای شیمیایی را کاهش داده و تعادل محیطی را حفظ نمایند. در سیستم کشاورزی پایدار، حبوبات به‌دلیل ایفای سهم گسترده خود در تنوع محصولات، گیاه شناخته شده‌ای است. با توجه به تقاضا برای پروتئین مقرون به‌صرفه و با کیفیت بالا (Maaz et al., 2018) تولید جهانی عدس از ۳/۵ میلیون تن در سال ۲۰۱۰- ۲۰۰۰ به ۵/۴ میلیون تن در سال ۲۰۱۸- ۲۰۱۱ افزایش یافته است؛ در واقع، عملکرد کم و ناپایدار، یک محدودیت عمده برای تولید جهانی عدس است (Lake & Sadras, 2021). تکنیک آبیاری تکمیلی در کاستن احتمالی خطر و افزایش پایای عملکرد محصولات تحت شرایط کشت دیم تأثیرگذار می‌باشد. در حقیقت، تکنیک آبیاری تکمیلی یک مداخله گذرا می‌باشد؛ یعنی در زمانی که میزان بارندگی جهت رشد گیاه زراعی کافی است، ولی دارای پراکنش نامناسب می‌باشد، با تکنیک آبیاری تکمیلی می‌توان با حداقل یک بار آبیاری به‌ویژه در مرحله حساس رشد، از بروز تنش خشکی در مساحت قابل توجهی از اراضی تحت کشت دیم ممانعت نمود (Karimi & Jalini, 2018). پژوهشگران در مطالعه‌ای بیان کردند که آبیاری تکمیلی بهینه، در نقاط دیم‌کاری بر اساس جنبه‌های زیر قابل انجام است: ۱) جهت بهبود عملکرد گیاهانی که به‌صورت دیم کشت شده‌اند. ۲) الزام انجام آبیاری تکمیلی زمانی که بارندگی قادر به تأمین رطوبت برای افزایش راندمان عملکرد نباشد. ۳) زمان آبیاری تکمیلی به‌صورتی برنامه‌ریزی می‌شود که با کاربرد حداقل آب قابل دسترس، بتواند در مراحل حساس رشدی گیاه، عملکرد مطلوب را ایجاد کند (Karimi & Jalini, 2018). محققان بسیاری علاقه‌مند به پژوهش بر روی گیاه عدس بوده و روی این گیاه ارزشمند از جهات مختلف تحقیق نموده‌اند؛ در این راستا، محققی در مطالعه‌ای، ارقام عدس را در محیط‌های مختلف خشکی و آبیاری تکمیلی مورد پژوهش قرار داد و موفق به رتبه‌بندی ارقام در مقابله با تنش خشکی با کمک شاخص‌های مرتبط با خشکی گردید (Kakaei, 2019). در تحقیقی دیگر، پژوهشگران با مطالعه تراکم کاشت ارقام عدس روی صفت عملکرد بیان کردند که رقم‌های مختلف عدس به تراکم بوته عکس‌العمل نشان داده و حداکثر عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک به‌ترتیب در تراکم‌های ۱۶۰ و ۲۴۰ بوته در مترمربع حاصل گردید (Malek Maleki et al., 2011). در مطالعه روی پارامترهای مختلف گیاه عدس محققان بیان نمودند که کاشت زود هنگام گیاه عدس در سیستم خاک‌ورزی صفر، بهترین روش زراعی برای این محصول است (Mukherjee et al., 2023). در مطالعه تأثیر تراکم عدس روی عملکرد، محققان اعلام کردند که کاشت زود هنگام، تراکم بوته بالا (۱۲۰ بوته در مترمربع) و میزان مصرف بالای فسفر منجر به تولید با عملکرد مطلوب می‌شود (Turk et al., 2003). در مطالعه‌ای، پژوهشگران کشت مخلوط عدس بهاره و گندم را بررسی نمودند که نشان‌دهنده توانایی حضور این گیاه ارزشمند در کنار کشت گندم می‌باشد (Loic et al., 2018). در تحقیقی دیگر، پژوهشگران بیان کردند که انجام آبیاری تکمیلی سبب افزایش معنی‌دار عملکرد در گیاه عدس شده است (Ghhashghaei et al., 2022). با توجه به ضرورت توجه به پژوهش در خصوص گیاه عدس، تحقیق حاضر جهت بررسی تراکم کاشت و آبیاری تکمیلی روی عملکرد گیاه عدس طراحی و اجرا گردید؛ به‌عبارت دیگر، در این مطالعه، توصیه بهترین تراکم بذر و تأثیر آبیاری تکمیلی روی عملکرد برای کشت عدس در شرایط شهر اسدآباد (استان همدان) مورد نظر بود.

مواد و روش‌ها

آزمایش حاضر در سال زراعی ۱۴۰۲- ۱۴۰۱ در مزرعه آموزشی- پژوهشی دانشگاه پیام‌نور شهر اسدآباد (استان همدان)، با مختصات جغرافیایی بین مدار ′۳۴°/۳۷ تا ′۳۴°/۵۰ عرض شمالی و′۴۷°/۹ تا ′۴۷°/۵۱ طول شرقی نصف‌النهار گرینویچ و با ارتفاع ۱۶۰۷ از سطح دریا انجام شد. خاک محل تحقیق نخست شخم و سپس دیسک زده شد و نهایتاً توسط ماله مسطح و هموار گردید. بذر رقم مژده قبل از کاشت با استفاده از قارچ‌کش کاپتان (دو در هزار) برای جلوگیری از بیماری برق‌زدگی ضدعفونی گردید. در خاک محل آزمایش هیچ گونه کود شیمیایی استفاده نشد، ولی از کود پوسیده دامی به‌میزان مناسب، در خاک مورد کاشت استفاده گردید. بعد از آماده‌سازی اولیه زمین، کاشت در اسفندماه ۱۴۰۱ صورت گرفت. بلافاصله بعد از کاشت، بارندگی مؤثری حادث گردید. آزمایش به‌صورت کرت خرد شده با آرایش طرح بلوک کامل تصادفی و سه تکرار انجام گردید. عامل‌های آزمایش شامل آبیاری (در مرحله نیام‌دهی و بدون آبیاری تکمیلی (دیم)) به‌عنوان عامل اصلی و تراکم کاشت (۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ بوته در مترمربع) به‌عنوان عامل فرعی با فاصله ردیف حدود ۱۲ سانتی‌متر در نظر گرفته شدند. کلیه مراقبت‌های زراعی در وقت معین طبق عرف منطقه تحقیق صورت گرفت.

به‌منظور اندازه‌گیری صفات، از هر واحد آزمایشی در هر تکرار تعداد پنج بوته (بعد از حذف اثرات حاشیه‌ای) انتخاب و

میانگین آن‌ها در نظر گرفته شدند. صفات شاخص سبزینگی به‌کمک دستگاه SPAD 502 PLUS شرکت KONICA MINOLTA ژاپن در مرحله نیام‌دهی، ارتفاع بوته بر حسب سانتی‌متر (با خط‌کش)، تعداد شاخه در بوته، تعداد نیام در بوته، تعداد دانه در بوته، وزن ۱۰۰ دانه بر حسب گرم، وزن خشک کل تک بوته (زیست‌توده) بر حسب گرم، وزن کل دانه‌های تک بوته (عملکرد دانه در بوته) بر حسب گرم اندازه‌گیری شدند. برای تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۶ استفاده گردید.

جدول ۱، مجموع بارش‌ها در زمان کاشت و پس از آن به‌صورت ماهانه و بر حسب میلی‌متر در شرایط محل پژوهش را نشان می‌دهد.

نتایج و بحث

شاخص سبزینگی

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر آبیاری تکمیلی و تراکم کاشت در خصوص صفت شاخص سبزینگی عدس معنی‌دار ($P\leq ۰/۰۱$) بود (جدول ۲). با توجه به جدول مقایسه میانگین (جدول ۳) در خصوص صفت شاخص سبزینگی، تراکم ۱۰۰ بوته در واحد سطح در شرایط آبیاری تکمیلی بیشترین میزان شاخص سبزینگی را تولید کرد و تراکم ۲۰۰ و ۳۰۰ بوته در واحد سطح در رتبه بعدی قرار گرفتند، اگر چه در شرایط آبیاری تکمیلی، تمامی تراکم‌های مورد مطالعه در گروه‌های آماری متفاوتی قرار گرفته‌اند و در شرایط آبیاری دیم نیز بیشترین میزان شاخص سبزینگی به‌ترتیب مربوط به تراکم‌های ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ بوته در واحد سطح بود که همه آن‌ها در گروه‌های آماری متفاوت قرار گرفتند. در پژوهشی، محققان در مطالعه ارزیابی حساسیت فلورسانس کلروفیل، شاخص سبزینگی و میزان کلروفیل در گندم بیان نمودند که اندازه‌گیری شاخص سبزینگی با استفاده از کلروفیل‌مترهای دستی و قابل حمل باعث راحتی کار شده است (Moenirad et al., 2021) که در این پژوهش نیز از دستگاه قابل حمل برای اندازه‌گیری شاخص کلروفیل استفاده گردید، همچنین آن‌ها اعلام نمودند که با توجه به جدول تجزیه واریانس، شاخص سبزینگی تحت اثر تیمارهای مورد مطالعه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود که با نتایج این مطالعه همسو بود.

ارتفاع بوته

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر آبیاری تکمیلی بر ارتفاع بوته عدس معنی‌دار ($P\leq ۰/۰۵$) بود (جدول ۲). با توجه به جدول مقایسه میانگین (جدول ۳) در خصوص صفت ارتفاع بوته، در شرایط آبیاری تکمیلی در کلیه تراکم‌ها (۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ بوته در واحد سطح) دارای ارتفاع بیشتری نسبت به شرایط بدون آبیاری تکمیلی (دیم) بودند و هر سه تراکم در این شرایط در یک گروه قرار گرفتند. به‌طور کلی، در شرایط آبیاری تکمیلی ارتفاع بوته در عدس بیشتر از شرایط دیم بود که نشان‌دهنده مفید بودن آبیاری تکمیلی در جهت افزایش رشد گیاه می‌باشد. محققان در مطالعه‌ای روی باقلا، اثر تراکم بوته و تاریخ کاشت بر عملکرد و اجزای عملکرد را ارزیابی نمودند و بیان کردند که در تمامی تاریخ‌های کاشت، افزایش تراکم کاشت باعث افزایش ارتفاع بوته شده است (Sharifi et al., 2016) که در خصوص صفت ارتفاع نیز در تحقیق حاضر منطبق و همسو می‌باشد.

تعداد شاخه (ساقه) در بوته

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر آبیاری تکمیلی و تراکم کاشت بر صفت تعداد شاخه در بوته عدس غیرمعنی‌دار بود (جدول ۲) و به همین ترتیب، مقایسه میانگین برای این صفت نیز نتوانست گروه‌های آماری متفاوتی را ایجاد نماید (جدول ۳).

تعداد نیام در بوته

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر آبیاری تکمیلی و تراکم کاشت بر صفت تعداد نیام در بوته عدس معنی دار ($P\leq ۰/۰۱$) بود (جدول ۲). با توجه به جدول مقایسه میانگین (جدول ۳) در خصوص صفت تعداد نیام در بوته، در تراکم ۱۰۰ بوته در واحد سطح و شرایط آبیاری تکمیلی، بیشترین تعداد نیام را تولید نمود و پس از آن، تراکم‌های ۲۰۰ و ۳۰۰ بوته در مترمربع بیشترین تعداد نیام را در شرایط آبیاری تکمیلی تولید کردند و در شرایط بدون آبیاری تکمیلی نیز به‌ترتیب تراکم‌های ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ بوته در واحد سطح دارای بیشترین تعداد نیام در بوته بودند. این نتایج با بخشی از نتایج تحقیقات حسینی و همکاران (Hosseini et al. 2011) همسو بود. این پژوهشگران در مطالعه اثر آبیاری تکمیلی بر عملکرد اقتصادی عدس بیان کردند که انجام یک مرتبه آبیاری تکمیلی در مرحله رشدی گل‌دهی در افزایش تعداد نیام در بوته و عملکرد عدس بسیار مؤثر بوده است. در مطالعه‌ای روی باقلا، پژوهشگران بیان نمودند که با افزایش تراکم بوته، از تعداد غلاف در هر بوته کاسته می‌شود (Sharifi et al., 2016) که با نتایج این پژوهش همسو می‌باشد.

جدول ۱- مقدار بارندگی ماهانه (بر حسب میلی‌متر) در محل انجام پژوهش

Table 1- The amount of monthly rainfall (mm) in the research location

سال زراعی Year	اسفند ۱۴۰۱ 2023 February	فروردین ۱۴۰۲ 2023 March	اردیبهشت ۱۴۰۲ 2023 April	خرداد ۱۴۰۲ 2023 May	تیر ۱۴۰۲ 2023 June
1401-1402 2022-2023	43.3	55.7	61.2	28.9	0

جدول ۲- تجزیه واریانس عامل‌های آبیاری تکمیلی و تراکم کاشت بر عملکرد و اجزای عملکرد عدس

Table 2- Analysis of variance of supplementary irrigation and planting density factors on yield and yield components of lentil

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean of squares							
		شاخص سبزینگی SPAD value	ارتفاع بوته Plant height	تعداد شاخه در بوته Number of branches	تعداد نیام در بوته Number of pods per plant	تعداد دانه در بوته Number of seeds per pod	وزن ۱۰۰ دانه 100-seed weight	عملکرد بیولوژیک Biological yield	عملکرد دانه Grain yield
بلوک Block	2	0.056	31.722	0.167	1.722	5.056	0.034	0.055	0.053
آبیاری تکمیلی Supplementary irrigation	1	440.056**	320.889*	34.722	1233.389**	320.889**	7.347**	6.372**	2.607*
خطای a Error a	2	0.056	23.389	5.056	1.722	0.389	0.034	0.009	0.055
تراکم کاشت Density	2	155.056**	8.389	4.167	264.056**	73.556**	1.709**	1.358**	1.708**
آبیاری تکمیلی × تراکم کاشت Supplementary irrigation × density	2	3.722	15.389	1.056	1.722	6.222*	0.362**	0.001	0.118
خطای b Error b	8	3.389	5.556	7.861	5.389	1.056	0.011	0.015	0.116
ضریب تغییرات (٪) CV (%)		4	6	19	5	2.5	1.5	5	11.5

* و **: به‌ترتیب، معنی‌دار در سطح احتمال پنج‌درصد و یک‌درصد. ns: غیرمعنی‌دار.

* and **: Significant at 5% and 1% probability levels, respectively. ns: non-significant.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل عامل‌های آبیاری تکمیلی و تراکم بوته بر صفات عملکرد و اجزای عملکرد در عدس

Table 3- Comparison of the means of the interaction of supplementary irrigation and plant density factors on yield and yield components in lentil

آبیاری تکمیلی **Supplementary irrigation**	تراکم بوته **Plant density**	صفات مطالعه شده **Studied traits**							
		شاخص سبزینگی **SPAD value**	ارتفاع بوته (سانتی‌متر) **Plant height (cm)**	تعداد شاخه در بوته **Number of branches per plant**	تعداد نیام در بوته **Number of pods per plant**	تعداد دانه در بوته **Number of seeds per plant**	وزن ۱۰۰ دانه (گرم) **100-seed weight (g)**	عملکرد بیولوژیک (گرم در بوته) **Biological yield ($g.plant^{-1}$)**	عملکرد دانه (گرم در بوته) **Grain yield ($g.plant^{-1}$)**
بدون آبیاری تکمیلی (دیم) Without supplementary irrigation (rainfed)	100	51.66^{c}*	35^{b}	12.33^{a}	40.33^{d}	43^{c}	7^{c}	5.46^{c}	2.63^{bc}
	200	46.33^{d}	33.33^{b}	10.33^{a}	33.33^{e}	39^{d}	6.4^{d}	4.93^{d}	1.85^{d}
	300	40^{e}	35.33^{b}	10.66^{a}	27.33^{f}	34^{e}	5.466^{e}	4.5^{e}	1.6^{d}
آبیاری تکمیلی Supplementary irrigation	100	60.33^{a}	40^{ab}	14.33^{a}	57.66^{a}	49.66^{a}	7.9^{a}	6.63^{a}	3.26^{a}
	200	55.66^{b}	44.66^{a}	13^{a}	48.66^{b}	47^{b}	7.5^{b}	6.13^{b}	2.93^{ab}
	300	51.66^{c}	44.33^{a}	14.33^{a}	44.33^{c}	44.66^{c}	7.3^{b}	5.7^{c}	2.166^{cd}

* میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

* Means with common letters are not significantly different based on Duncan's test at the 5% probability level.

تعداد دانه در بوته

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر آبیاری تکمیلی و تراکم کاشت بر تعداد دانه در بوته عدس معنی‌دار (P≤ ۰/۰۱) بود. اثر متقابل آبیاری تکمیلی در تراکم کاشت در سطح احتمال پنج درصد (P≤ ۰/۰۵) معنی‌دار گردید (جدول ۲). با توجه به جدول مقایسه میانگین (جدول ۳)، در تراکم ۱۰۰ بوته در واحد سطح و شرایط آبیاری تکمیلی، بیشترین تعداد دانه در بوته تولید گردید و تراکم ۲۰۰ و ۳۰۰ بوته در واحد سطح در رتبه بعدی قرار گرفتند، اگر چه در شرایط آبیاری تکمیلی تمامی تراکم‌های مورد مطالعه در گروه‌های آماری متفاوتی قرار گرفته‌اند و در شرایط دیم نیز بیشترین تعداد دانه در بوته به‌ترتیب مربوط به تراکم‌های ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ بوته در واحد سطح بود که همه آن‌ها در گروه‌های آماری متفاوتی قرار گرفتند. در تحقیقی روی واکنش ارقام نخود دیم به زمان کاشت، پژوهشگران اعلام نمودند که صفت تعداد دانه در بوته صفت معنی‌داری بوده (Farnia & Moradi, 2015) که با نتایج پژوهش پیش‌رو منطبق می‌باشد.

وزن ۱۰۰ دانه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر عامل‌های آبیاری تکمیلی و تراکم کاشت و همچنین، اثر متقابل آن‌ها بر وزن ۱۰۰ دانه عدس معنی‌دار (P≤ ۰/۰۱) بود (جدول ۲). با توجه به جدول مقایسه میانگین (جدول ۳)، در تراکم ۱۰۰ بوته در واحد سطح در شرایط آبیاری تکمیلی، بیشترین وزن ۱۰۰ دانه تولید گردید و تراکم ۲۰۰ و ۳۰۰ بوته در واحد سطح در رتبه بعدی قرار گرفتند. اگر چه در شرایط آبیاری تکمیلی تراکم ۱۰۰ بوته در واحد سطح، در گروه مجزایی از تراکم‌های ۲۰۰ و ۳۰۰ بوته در واحد سطح قرار گرفت. در شرایط دیم نیز بیشترین وزن ۱۰۰ دانه به‌ترتیب مربوط به تراکم‌های ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ بوته در واحد سطح بود که همه آن‌ها در گروه‌های آماری متفاوت قرار گرفتند.

عملکرد بیولوژیک تک بوته

با توجه به نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها، اثر آبیاری تکمیلی و تراکم کاشت بر عملکرد بیولوژیک بوته عدس در سطح احتمال یک درصد (P≤ ۰/۰۱) معنی‌دار بود (جدول ۲). با توجه به جدول مقایسه میانگین (جدول ۳) بیشترین میزان صفت عملکرد بیولوژیک در شرایط آبیاری تکمیلی، به‌ترتیب مربوط به تراکم ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ بوته در واحد سطح بود، اگر چه در شرایط آبیاری تکمیلی، تمامی تراکم‌های مورد مطالعه در گروه‌های آماری متفاوتی قرار گرفتند و در شرایط دیم نیز بیشترین عملکرد بیولوژیک بوته به‌ترتیب مربوط به تراکم‌های ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ بوته در واحد سطح بود که همه آن‌ها در گروه‌های آماری متفاوتی قرار گرفتند. در پژوهشی روی مطالعه عدس در شرایط دیم مشهد، محققان بیان نمودند که صفت عملکرد بیولوژیک برای مطالعه عملکرد و اجزای عملکرد عدس بسیار مناسب می‌باشد و آن را صفتی اثرگذار در مطالعه عدس بیان کردند (Bannayan Aval et al., 2018) که در پژوهش حاضر نیز از مطالعه این صفت بهره‌برداری لازم صورت پذیرفته است.

عملکرد دانه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر آبیاری تکمیلی در سطح احتمال پنج درصد (P≤ ۰/۰۵) و تراکم کاشت در سطح احتمال یک درصد (P≤ ۰/۰۱) بر عملکرد دانه معنی دار بود (جدول ۲). با توجه به جدول مقایسه میانگین (جدول ۳) در خصوص صفت عملکرد دانه، در تراکم ۱۰۰ بوته در واحد سطح در شرایط آبیاری تکمیلی، بیشترین عملکرد تولید گردید و تراکم ۲۰۰ و ۳۰۰ بوته در واحد سطح در رتبه بعدی قرار گرفتند، اگرچه در شرایط آبیاری تکمیلی، تمامی تراکم‌های مورد مطالعه در گروه‌های آماری متفاوتی قرار گرفتند و در شرایط دیم نیز بیشترین عملکرد دانه به‌ترتیب مربوط به تراکم‌های ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ بوته در واحد سطح بود که همه آن‌ها در گروه‌های آماری متفاوتی قرار گرفتند. در پژوهشی روی مطالعه اثر تراکم بذر بر عملکرد ارقام عدس، محققان بیان نمودند که رقم اصلاح شده گچساران، با شرایط تراکمی ۲۵۰ بذر در مترمربع، بیشترین عملکرد را در تراکم مذکور به خود اختصاص داد و توانست در کنترل علف‌های هرز نیز موفق عمل کند (Portahari et al., 2012).

نتایج همبستگی بین صفات

در پژوهش‌های به‌نژادی، وجود همبستگی بین صفات مورد مطالعه به‌خصوص در مورد انتخاب بر مبنای تعدادی از صفات، بسیار پر اهمیت می‌باشد (Azizizadeh et al., 2022). بر اساس جدول ۴، صفت ارتفاع بوته با صفت تعداد نیام در بوته دارای همبستگی مثبت و معنی‌دار (**۰/۵۳۹) می‌باشد، با این مفهوم که هر چقدر گیاه بتواند از شرایط محیطی نظیر نور، رطوبت و غیره بیشتر استفاده کند و رشد رویشی (رشد ساقه و مجموع شاخه‌های اصلی و فرعی) را افزایش دهد، طبیعتاً شرایط برای تشکیل تعداد نیام را بیشتر مهیا کرده است و البته به‌علت رشد

نامحدود گیاه عدس، در صورت مهیا بودن شرایط محیطی، رشد رویشی ادامه‌دار خواهد بود. با افزایش صفت ارتفاع، به تناسب آن صفت تعداد دانه در بوته (**۰/۵۹۶) افزایش یافته، چرا که افزایش ارتفاع در تراکم مناسب باعث افزایش تعداد دانه در بوته می‌شود. صفات تعداد شاخه در بوته و عملکرد بیولوژیک تک بوته در سطح احتمال یک درصد (P≤ ۰/۰۱) و صفت وزن ۱۰۰ دانه در سطح احتمال پنج درصد (P≤ ۰/۰۵) با افزایش ارتفاع یک روند صعودی را از خود نشان دادند که با افزایش ارتفاع، عملکرد بیولوژیک تک بوته نیز افزایش یافت که یک امر طبیعی و منطقی می‌باشد. با افزایش تعداد نیام در بوته، صفات تعداد دانه در بوته، عملکرد بیولوژیک تک بوته، عملکرد دانه تک بوته، وزن ۱۰۰ دانه و شاخص سبزینگی در سطح احتمال یک درصد (P≤ ۰/۰۱) و صفت تعداد شاخه در بوته، در سطح احتمال پنج درصد (P≤ ۰/۰۵) افزایش نشان داده است. افزایش صفت تعداد دانه در بوته، صفات عملکرد بیولوژیک تک بوته، عملکرد دانه تک بوته، وزن ۱۰۰ دانه، شاخص سبزینگی در سطح احتمال یک درصد (P≤ ۰/۰۱) و صفت تعداد شاخه در بوته در سطح احتمال پنج درصد (P≤ ۰/۰۵) دچار افزایش شده است. با افزایش تعداد شاخه در بوته، صفات عملکرد بیولوژیک تک بوته و وزن ۱۰۰ دانه افزایش یافت، در این راستا عزیزی‌زاده Azizizadeh (2022)، نیز در مطالعه همبستگی ژنوتیپ‌های عدس بین صفت عملکرد دانه با صفت وزن ۱۰۰ دانه رابطه مثبت و معنی‌داری را گزارش نمود. آن‌ها همچنین بیان کردند که در حبوبات و به‌ویژه عدس این همبستگی معمولاً مثبت ولی کم می‌باشد، چرا که عدس در زمره گیاهان دارای رشد نامحدود قرار دارد. با افزایش صفت عملکرد بیولوژیک تک بوته، سه صفت عملکرد دانه تک بوته، وزن ۱۰۰ دانه و شاخص سبزینگی افزایش یافتند. با افزایش میزان صفت عملکرد تک بوته، صفت عملکرد بیولوژیک دچار افزایش می‌شود که این نتیجه کاملاً طبیعی و قابل انتظار می‌باشد. هر چه صفت شاخص سبزینگی بیشتر شود، گیاه سوخت‌وساز بیشتری می‌تواند انجام دهد و ارسال آسیمیلات‌ها به دانه افزایش می‌یابد و لذا، عملکرد دانه افزایش می‌یابد و با افزایش عملکرد دانه تک بوته، صفات وزن ۱۰۰ دانه و شاخص سبزینگی افزایش می‌یابد. در پژوهشی حسینی و همکاران (Hosseini et al., 2011) در مطالعه اثرات آبیاری تکمیلی بر عملکرد و اجزای عملکرد ارقام عدس ابراز نمودند که آبیاری تکمیلی سبب بهبود معنی‌دار تعداد نیام در بوته، وزن ۱۰۰ دانه، عملکرد اقتصادی و عملکرد بیولوژیک شد و همچنین بیان کردند که در بین اجزای عملکرد عدس، تعداد نیام در بوته بیشترین همبستگی (**۰/۷۶) را با عملکرد دانه داشت و لذا، صفت مذکور مهم‌ترین جزء عملکرد دانه در عدس بوده است.

جدول ۴- ضرایب همبستگی (پیرسون) صفات مورد مطالعه در گیاه عدس تحت اثر عامل‌های آبیاری تکمیلی و تراکم بوته

Table 4- Correlation coefficients (Pearson) of studied traits in lentil plant under the effect of supplementary irrigation factors and plant density

صفات مورد مطالعه Traits		X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8
ارتفاع بوته Plant height	X1	1							
تعداد نیام در بوته Number of pods per plant	X2	0.539*	1						
تعداد دانه در بوته Number of seeds per plant	X3	0.596**	0.954**	1					
تعداد شاخه در بوته Number of branches per plant	X4	0.478*	0.549*	0.559*	1				
عملکرد بیولوژیک Biological yield	X5	0.578*	0.984**	0.97**	0.537*	1			
عملکرد دانه Grain yield	X6	0.421	0.825**	0.863**	0.337	0.845**	1		
وزن ۱۰۰ دانه 100-seed weight	X7	0.598**	0.946**	0.972**	0.501*	0.954**	0.823**	1	
شاخص سبزینگی SPAD value	X8	0.460	0.978**	0.942**	0.464	0.963**	0.842**	0.96**	1

* و **: به‌ترتیب، معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد. ns: غیرمعنی‌دار.

* and **: Significant at 5% and 1% probability levels, respectively. ns: non-significant.

نتیجه‌گیری

آبیاری تکمیلی در بیشتر نقاط کشور، برای تولید مطلوب محصولات کشاورزی پر اهمیت می‌باشد، چرا که در اغلب مناطق، بارندگی کافی نیست یا پراکنش آن مطلوب نمی‌باشد. لذا، آبیاری در مرحله حساس رشدی نظیر شروع نیام‌دهی دارای اهمیت است. تراکم کاشت می‌تواند نقشی مهم و راهبردی در عملکرد گیاه داشته باشد. تراکم مطلوب در زراعت می‌تواند رقابت‌های درون و برون گونه‌ای را در جهت استفاده بهینه از منابع مدیریت نماید. یافتن تراکم مناسب جهت کشت، گیاه را قادر خواهد ساخت که از تمامی عوامل محیطی نظیر رطوبت، نور و مواد غذایی به‌نحو کارآمدی استفاده نماید. رقم مژده مورد مطالعه در این پژوهش، در تراکم ۱۰۰ و ۲۰۰ بوته در واحد سطح و با شرایط آبیاری تکمیلی در اوایل نیام‌دهی توانست بهترین عملکرد (۳/۲۶ گرم در واحد تک بوته) را تولید نماید. تجزیه همبستگی (پیرسون) صفات عملکرد و اجزای عملکرد نشان داد که بین عملکرد تک بوته و سایر صفات مورد ارزیابی همبستگی معنی‌داری وجود دارد (۰/۰۱ ≥P و ۰/۰۵ ≥P) که نشان‌دهنده ارتباط صفات اجزای عملکرد با صفت عملکرد می‌باشد که می‌تواند مسیر تحقیقات آینده به‌زراعی و به‌نژادی را در موضوعات مشابه تحقیق حاضر هموارتر کند. با توجه به نتایج کلی این آزمایش، به نظر می‌رسد که تراکم بوته به‌ترتیب اولویت ۱۰۰ و ۲۰۰ بوته در مترمربع با فاصله ردیف ۱۲ سانتی‌متر در شرایط آبیاری تکمیلی برای کشت عدس در اسفندماه محل پژوهش، مناسب بوده است.

سپاسگزاری

از همکاری دانشگاه پیام‌نور، جناب دکتر محسن سعیدی عضو هیأت علمی گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی دانشگاه رازی جهت همکاری در تهیه بذر مورد تحقیق و همچنین از جناب مهندس محمدحسن باقری شکیب رئیس اداره پیش‌بینی مرکز تحقیقات هواشناسی استان همدان بابت در اختیار گذاشتن داده‌های هواشناسی محل پژوهش قدردانی می‌کنم.

References

Azizizadeh, Z., Tahmasebi, Z., & Mirzaei, A. (2022). Genetic diversity of yield and yield components in few lentil (*Lens culinaris* Medikus) genotypes using multivariate statistical methods. *Iranian Journal of Pulses Research, 13*(1), 73-86. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22067/ijpr.v13i1.2103-1003

Bannayan Aval, M., Yaghoubi, F., Rashidi, Z., & Bardehji, S. (2018). Effect of different nitrogen levels on phenology, growth indices and yield of two lentil cultivars under rainfed conditions in Mashhad. *Iranian Journal of Field Crops Research, 15*(4), 939-956. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22067/gsc.v15i4.59769

Farnia, A., & Moradi, S. (2015). Study of the rainfed chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars response to planting dates in Kermanshah conditions. *Journal of Applied Research of Plant Ecophysiology, 2*(1), 47-64. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/ 10.22067/ijpr.v11i2.76502

Ghhashghaei, M., Tadayon, M. R., Bahador, M., & karimzadeh, H. (2022). Effect of supplementary irrigation and application of zeolite on the growth and yield of lentils (*Lens culinaris* Medik) under rainfed conditions. *Journal of Crop Production and Processing, 11*(4), 17-33. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.47176/jcpp.11.4.209114

Hosseini, F. S., Nezami, A., Parsa, M., & Hajmohammadnia Ghalibaf, K. (2011). The effects of supplementary irrigation on the yield and yield components of lentil cultivars in the climatic conditions of Mashhad (*Lens culinaris* Medik). *Water and Soil Journal (Agricultural Sciences and Industries), 25*, 633-625. (In Persian with English Abstract)

Kakaei, M. (2019). Evaluation of terminal drought stress tolerance in lentil (*Lens culinaris*). *Journal of Crop Production and Processing, 8*(4), 59-71. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.29252/jcpp.8.4.59

Karimi, M., & Jalini, M. (2018). Application of supplementary irrigation in dryland wheat farming. *Journal of Water and Sustainable Development, 6*(1), 29-34. (In Persian with English Abstract)

Lake, L., & Sadras, V. O. (2021). Lentil yield and crop growth rate are coupled under stress but uncoupled under favorable conditions. *European Journal of Agronomy, 12*(6), 126-266.

Loic, V., Laurent, B., Etienne-Pascal, J., & Eric, J. (2018). Yield gap analysis extended to marketable grain reveals the profitability of organic lentil-spring wheat intercrops. *Agronomy for Sustainable Development, 38*, 39.

Miguele, Z., Frade, M. M., & Valenciano, J. B. (2005). Effect of sowing density on the yield and yield components of spring-sowing irrigated chickpea (*Cicer arietinum* L.) growing in Spain. *New Zeeland Journal of Crop and Horticulture Science*, *33*, 367-371.

Maaz, T., Wulfhorst, J. D., McCracken, V., Kirkegaard, J., Huggins, D. R., Roth, L., Kaur, H., & Pan, W. (2018). Economic, policy, and social trends and challenges of introducing oilseed and pulse crops into dryland wheat cropping systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, *25*(3), 177-194.

Malek Maleki, F., Majnoon Hosseini, N., & Alizadeh, H. (2011). Effect of plant density on seed yield and yield components of two lentil cultivars (*Lens culinaris* Medik). *Iranian Journal of Field Crop Science, 42*(1), 33-40. (In Persian with English Abstract)

Mukherjee, B., Kumar Naskar, M., Nath, R., Atta, K., Visha Kumari, V., Banerjee, P., Alamri, S., Patra, K., Laing, A. M., Skalicky, M., & Hossain, A. (2023). Growth, nodulation, yield, nitrogen uptake, and economics of lentil as influenced by sowing time, tillage, and management practices. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, *7*, 1151111.

Moenirad, A., Zeinali, E., Galeshi, S., Soltani, A., & Eganepour, F. (2021). Investigation of fluorescence chlorophyll sensitivity, chlorophyll index, rate of chlorophyll (a, b), nitrogen concentration and nitrogen nutrition index under nitrogen and phosphorus nutrition in wheat. *Crop Production, 14*(1), 1-18. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/10.22069/ejcp.2021.12259.1947

Parsa, M., & Bagheri, A. R. (2008). Legumes. Publications University of Mashhad, Iran. p. 522. (In Persian with English Abstract)

Portahari, S. N., Rahimi, M. M., Vaezi, B., & Ahmadikhah, A. (2012). The effect of seed density and weed control on the yield and yield components of two rainfed lentil cultivars in subtropical conditions. *Electronic Journal of Crop Production*, *5*(4), 135-149. (In Persian with English Abstract). https://doi.org/20.1001.1.2008739.1391.5.4.8.3

Sharifi, P., Niknami, F., Sadeghi., S. M. (2016). Effect of plant density and planting date on yield and yield components of faba bean. *Journal of Agronomy and Plant Breeding, 12*(1), 83-95. (In Persian with English Abstract)

Turk, M. A., Tawaha, A. M., & El-Shatnawi, M. K. J. (2003). Response of lentil (*Lens culinaris* Medik) to plant density, sowing date, phosphorus fertilization and ethephon application in the absence of moisture stress. *Journal of Agronomy and Crop Science*, *18*(9), 1-6.

Zeroual, A., Baidani, A., & Idrissi, O. (2023). Drought stress in lentil (*Lens culinaris*, Medik) and approaches for its management. *Horticulturae, 9*, 1.